

05.4;12

©1995

YBCO — ТОНКИЕ ПЛЕНКИ БОЛЬШОГО РАЗМЕРА ДЛЯ СВЧ-ПРИМЕНЕНИЙ

Б.А.Володин, А.К.Воробьев, Ю.Н.Дроздов, Е.Б.Клюенков, Ю.Н.Ноздрин, А.И.Сперанский, В.В.Таланов

Для получения высококачественных $Y_1Ba_2Cu_3O_{7-\delta}$ (YBCO)-пленок в настоящее время используются различные методы [1-3]. В основном это некоторые модификации электронно-лучевого, лазерного и магнетронного напыления. Как правило, исследования проводятся на образцах с небольшими размерами порядка $1 \times 1 \text{ см}^2$. Использование ВТСП-пленок в электронике наиболее перспективно, в первую очередь, при создании пассивных элементов СВЧ-гибридных интегральных схем, таких как линии задержки, резонаторы, антенны и фильтры. Причем размеры этих устройств приводят к необходимости получения пленочных покрытий площадью не менее нескольких квадратных сантиметров. Кроме того, даже при изготовлении небольших устройств желательно применять стандартные групповые методы на подложках больших размеров.

По-видимому, переход к большим площадям эпитаксиальных YBCO-пленок следует рассматривать в качестве самостоятельной задачи, так как большинство вышеупомянутых техник напыления не было рассчитано на получение однородных покрытий больших размеров. Наиболее однородные пространственные эмиссионные характеристики дают методы распыления с протяженными источниками материала (например, магнетронное напыление) в отличие от методов с точечными источниками (лазерное, электронно-лучевое испарение). Для получения высококачественных тонких пленок YBCO методом магнетронного напыления необходимо обеспечить выполнение определенных условий осаждения [4,5]. Выполнение этих условий нам удалось реализовать в одном из вариантов конструкции инвертированной магнетронной распылительной системы [6]. Целью настоящей работы было исследование поверхностной однородности свойств пленок YBCO размером до 50 мм, полученных *in situ* в инвертированной магнетронной распылительной системе нашей конструкции на сапфировых подложках ALO (1012) с буферным подслоем YSZ. Сапфир выбран в качестве подложки, так как является, по-видимому, наиболее подходящим материалом для вышеперечисленных СВЧ-применений [7].

Технология получения пленок YSZ и YBCO, конструкция и особенности работы инвертированной магнетронной распылительной системы описаны ранее в [6]. В настоящей работе внутренняя поверхность кольцевой стехиометрической мишени YBCO радиусом 42 мм распылялась в смеси аргона и кислорода $Ar : O_2 = 1 : 1$ при оптимальном давлении 50 Па, найденном в работе [6]. При напряжении на разрядном промежутке 140 В и разрядном токе 1.2 А были получены пленки толщиной 160 нм при скорости осаждения 1.3 нм/мин. Подложка размером 36×36 мм (50 мм по диагонали) неподвижно находилась над мишенью в положении off axis на расстоянии 35 мм. Использовался бесконтактный метод нагрева подложек. Температура в зоне нагрева подложки измерялась и поддерживалась с точностью 4°C при оптимальном значении 700°C [9].

На полученных образцах исследовались поверхностная однородность толщины, кристаллографическое совершенство, плотность критического тока и эффективное поверхностное СВЧ-сопротивление пленок YBCO.

Структурные данные получены методом рентгеновской дифрактометрии на дифрактометре ДРОН-4, CuK_{α} — излучение с точечной проекцией фокуса трубки. Использовалась гониометрическая приставка ГП-13, модифицированная для работы с монокристаллическими слоями и снабженная устройством перемещения ± 25 мм. Проводилось ω -сканирование рефлекса (005) YBCO. Ширина кривой качания по ω на половине высоты (FWHM) служила интегральной оценкой структурного совершенства пленки YBCO [12], а интегральная интенсивность отражения (005) считалась пропорциональной толщине с нормировочным коэффициентом, взятым из интерферометрического измерения толщины пленки со ступенькой. На рис. 1–3 приведены данные для одного из образцов (r — расстояние от центра образца). На рис. 1 представлена кривая распределения толщины пленки YBCO t_{eff} вдоль диагонали образца, полученная по интегральной интенсивности отражения (005) YBCO. На рис. 2 представлена кривая распределения FWHM (005) YBCO. В целом толщина и полуширина кривой качания сохранялись на всей исследованной поверхности, изменяясь в пределах 10%. На рис. 3 представлена зависимость FWHM (005) YBCO от температуры осаждения T_d , полученная на подложках размером 12.5×12.5 мм в аналогичном режиме [12]. Совместный анализ рис. 2 и 3 позволяет предположить, что в используемой системе нагрева среднее значение градиента температуры по поверхности подложки размером 36×36 мм не превышает 0.4°C/мм.

Для оценки поверхностной однородности плотности критического тока j_c и эффективного поверхностного

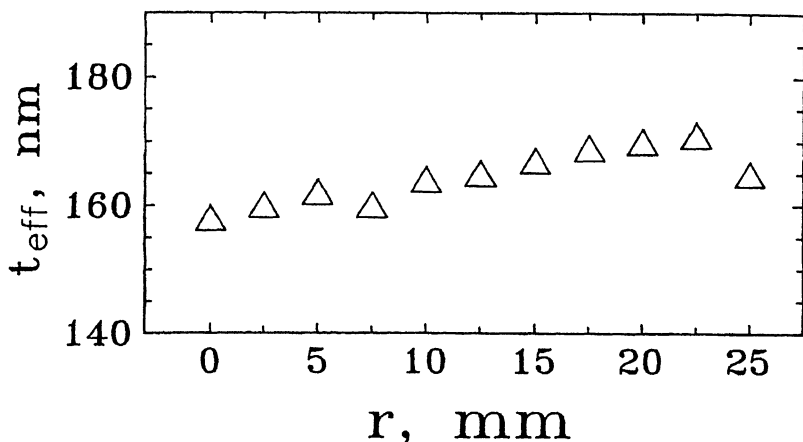


Рис. 1. Поверхностное распределение толщины пленки YBCO t_{eff} .

СВЧ-сопротивления R_s исследовалось по 9 образцов размером 12×12 мм, вырезанных из структуры размером 36×36 мм.

R_s измерялось методом резонатора с параллельными пластинами [10] с модифицированной системой связи подводящих линий с резонатором [11] при температуре 77 К на частоте 10 ГГц. Измерения проводились методом сравнения R_s каждого исследуемого образца с величиной R_s "тестовой" пленки YBCO/LaAlO, имевшей $R_s < 0.6$ мОм при указанных условиях, что позволило получить высокую относительную точность измерений [12].

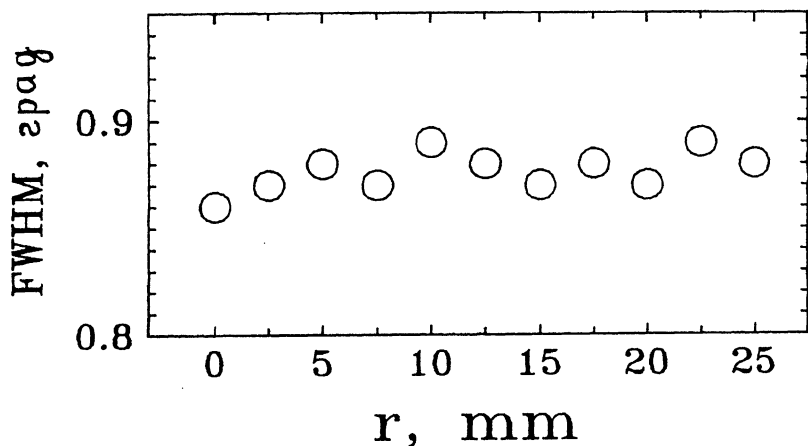


Рис. 2. Поверхностное распределение полуширины кривой качания FWHM (005) YBCO.

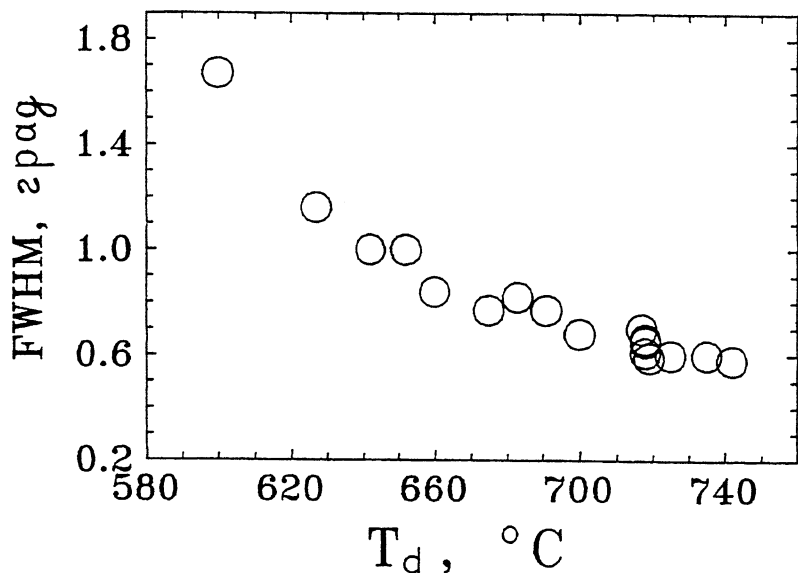


Рис. 3. Зависимость полуширины кривой качания FWHM (005) YBCO от температуры осаждения T_d .

Средняя величина j_c определялась методом лазерно-магнитной томографии, описанным в [13]. Значения R_s и j_c образцов, вырезанных из структур большого размера, отличались в пределах 10% от средних значений 0.8 мОм (на частоте 10 ГГц при температуре 77 К) и $4 \cdot 10^6$ А/см² (при температуре 77 К) соответственно. Таким образом, в инвертированной магнетронной распылительной системе получены высококачественные YBCO-пленки на сапфире с подслоем YSZ. Неоднородность толщины, структурных и транспортных свойств ниже 10% на поверхности размером 50 мм. На основе этих пленок были изготовлены СВЧ-приборы (электрически малая дипольная антенна 2 ГГц [14] и делитель мощности Уилкинсона 11 ГГц [15]) с высокими характеристиками.

Авторы выражают благодарность С.А. Павлову и А.В. Варганову за плодотворные дискуссии в ходе работы и за предоставление тестовой пленки, полученной ими методом лазерного напыления. Работа выполнена в рамках государственной программы по ВТСП (проект № 92140 "Подслой") и при частичной поддержке РФФИ (грант № 9302-3362).

Список литературы

- [1] *Berberich P., Utz B., Prusseit W., Kinder H.* // [Pap.] Appl. Superconduct. Conf. Oct. 16-21, 1994. Boston, USA. Submit. to IEEE Trans. on Appl. Superconduct.
- [2] *Smith E.J., Cardona A.H., Smith M.T., Arney D.L., Esparsa A.L.* // [Pap.] Appl. Superconduct. Conf. Oct. 16-21, 1994. Boston, USA. Submit. to IEEE Trans. on Appl. Superconduct.
- [3] *Kruger U., Kutzner R., Ockenfuss G., Wordenweber R.* // [Pap.] Appl. Superconduct. Conf. Oct. 16-21, 1994. Boston, USA. Submit. to IEEE Trans. on Appl. Superconduct.
- [4] *Terada N., Thara H., Jo M., Hirabayashi M., Kimura Y., Mansutani K., Hirata K., Ohno E., Sugise R., Kawashima M.* // Jap. J. Appl. Phys. 1998. V. 27(4). P. L639-L642.
- [5] *Sakuta K., Iuori M., Kabayashi T.* // Jap. J. Appl. Phys. 1990. V. 29. N 4. P. L611-L613.
- [6] *Воробьев А.К., Клуенков Е.Б., Таланов В.В., Ботин Э.Н.* // Письма в ЖТФ. 1993. Т. 19. В. 15. С. 12-16.
- [7] *Brown R., Pendric V.* // Appl. Phys. Lett. 1990. V. 57. N 13. P. 1351.
- [8] *Jiang G.O., Wong W.H.* // Rev. Sci. Instrum. 1993. V. 64. N 6. P. 1614.
- [9] *Белов Р.К., Варганов А.В., Володин Б.А., Воробьев А.К., Гапонов С.В., Дроздов Ю.Н.* // Письма в ЖТФ. 1994. Т. 20. В. 11. С. 1-5.
- [10] *Taber R.S.* // Rev. Sci. Instrum. 1990. V. 61. P. 495-502.
- [11] *Vasovich A.Ya., Belov R.K., Markelov V.A., Mazo L.A., Pavlov S.A., Talanov V.V., Varganov A.V.* // J. of Superconductiv. 1992. V. 5(6). P. 497-502.
- [12] *Белов Р.К., Володин Б.А., Воробьев А.К., Вышеславцев П.П., Гусев С.А., Дроздов Ю.Н.* // ФТТ. 1995. Т. 37. № 3. С. 785-798.
- [13] *Nozdrin Yu.N., Visheslavtzev P.P., Tokman I.D., Gordion I.M.* // Presented of 1994 Applied Superconductiv. Conference. 1994. 16-21 Oct. Boston. USA. Submit to IEEE Trans. on Appl. Superconduct.
- [14] *Абрамов В.И., Климов А.Ю., Резник А.И., Тагунов Б.Б.* // Письма в ЖТФ. 1994. Т. 20. В. 19. С. 60-65.
- [15] *Belov R.K., Drozdov Yu.N., Gaponov S.V., Gusev S.A., Klimov A.Yu., Kluenkov E.B.* // Presented of 1994 Applied Superconductiv. Conference. 1994. 16-21 Oct. Boston. USA. Submit of IEEE Trans. of Appl. Superconduct.

Институт
физики микроструктур РАН
Нижний Новгород

Поступило в Редакцию
10 апреля 1995 г.